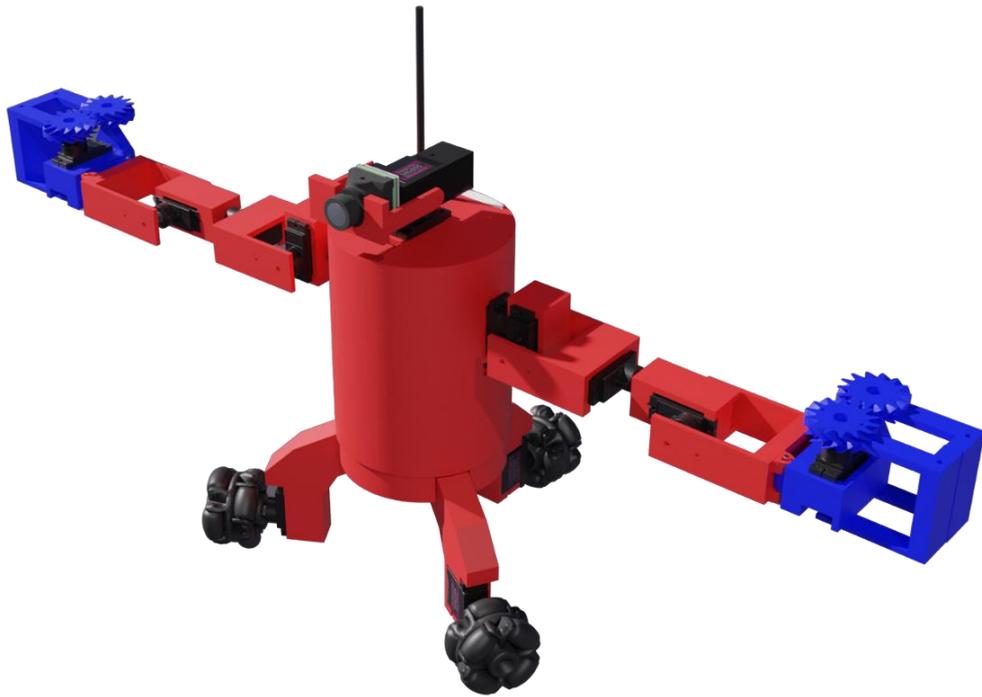


臺北市立大安高級工業職業學校專題實作競賽
「專題組」作品說明書



群別：電機與電子群

作品名稱：替身

關鍵詞：機器人、同步人體姿態操作、可模組化工具

目錄

壹、摘要	1
貳、研究動機	1
參、主題與課程之相關性或教學單元之說明	2
一、硬體製作	2
二、程式撰寫	2
三、電路板雕刻	2
肆、研究方法	3
一、研究流程	3
(一)、研究步驟	3
(二)、操作步驟	4
二、使用材料	6
(一)、零件材料	6
(二)、機構原理	11
(三)、結構設計	12
伍、研究結果	14
一、硬體結構	14
(一)、本體	14
(二)、手臂	14
二、軟體架構及技術	15
(一)、頭部轉動	15
(二)、手臂動作理念	16
(三)、手臂動作計算流程	17
(四)、輪胎移動原理	19
(五)、手把未連接偵測	20
(六)、線性差值積分法	20
(七)、無線傳輸編碼方式	21
三、成果展示	21
(一)、本體、手臂	21
(二)、裝備控制	21
陸、討論	22
一、夾具無法正常開合	22
二、MPU9250 磁力計不準確	22
柒、結論	23
捌、參考資料及其他	24
一、網路資料	24

表目錄

表 1	時間分配表.....	3
表 2	PCA9685 16 路直流電機驅動模組規格.....	6
表 3	MPU9250 九軸感測器模組規格.....	6
表 4	Arduino Mega 2560 PRO 規格.....	7
表 5	7.4V 鋰電池組規格.....	7
表 6	nRF24L01 規格.....	8
表 7	ESP32 規格.....	8
表 8	MG90S 伺服馬達規格.....	8
表 9	QMC5883L 規格.....	9
表 10	250K Ω 可變電阻器規格.....	9
表 11	自激式蜂鳴器規格.....	9
表 12	FPV 微型攝影鏡頭規格.....	10
表 13	福來輪規格.....	10
表 14	LM2596 穩壓模組.....	10

圖目錄

圖 1	外殼 3D 列印.....	2
圖 2	零件 3D 列印.....	2
圖 3	Arduino 程式撰寫.....	2
圖 4	Cursor 程式撰寫.....	2
圖 5	PCB 電路圖.....	3
圖 6	電路板.....	3
圖 7	研究步驟.....	3
圖 8	人員操作流程.....	4
圖 9	機器人運作流程.....	5
圖 10	PCA9685 16 路直流電機驅動模組.....	6
圖 11	MPU9250 九軸感測器模組.....	6
圖 12	Arduino Mega 2560 PRO.....	7
圖 13	搖桿.....	7
圖 14	7.4V 鋰電池組.....	7
圖 15	nRF24L01.....	8
圖 16	ESP32.....	8
圖 17	MG90S 伺服馬達.....	8
圖 18	QMC5883L.....	9
圖 19	250K Ω 可變電阻器.....	9
圖 20	自激式蜂鳴器.....	9
圖 21	FPV 微型攝影鏡頭.....	10
圖 22	福來輪.....	10
圖 23	LM2596 穩壓模組.....	10
圖 24	本體機構原理.....	11
圖 25	手臂機構原理.....	12
圖 26	模組化接頭.....	12
圖 27	人字形齒輪.....	12
圖 28	模組安裝板.....	13
圖 29	電池盒滑槽.....	13
圖 30	主控板接口.....	13
圖 31	手把接口.....	13
圖 32	本體內部結構.....	14
圖 33	手臂細部結構.....	14
圖 34	磁力計三軸.....	15
圖 35	反餘切函式.....	15
圖 36	Madgwick 濾波器.....	15

圖 37	歐拉角.....	16
圖 38	頭部全域歐拉角.....	16
圖 39	上臂陀螺儀參考座標軸.....	16
圖 40	機器人上臂陀螺儀參考座標軸.....	16
圖 41	前臂陀螺儀參考座標軸.....	16
圖 42	機器人前臂陀螺儀參考座標軸.....	16
圖 43	上臂的歐拉角 Yaw	17
圖 44	大臂的歐拉角 Pitch	17
圖 45	前臂的歐拉角 Yaw	17
圖 46	前臂的歐拉角 Pitch	17
圖 47	上臂及前臂的 Yaw	18
圖 48	上臂三維向量.....	18
圖 49	上臂相對關節歐拉角.....	18
圖 50	第一個關節的角度.....	18
圖 51	第二個關節的角度.....	18
圖 52	前臂相對關節歐拉角.....	19
圖 53	沿上臂反向旋轉.....	19
圖 54	上臂未轉動模擬.....	19
圖 55	第三個關節的角度.....	19
圖 56	第四個關節的角度.....	19
圖 57	底盤移動向量圖.....	20
圖 58	對數補償函式曲線.....	20
圖 59	手把未連接偵測.....	20
圖 60	線性差值積分法.....	20
圖 61	角度讀值飛越.....	21
圖 62	轉圈信號傳送.....	21
圖 63	本體、手臂.....	22
圖 64	控制裝備.....	22
圖 65	馬達並非直接與齒輪接合.....	22
圖 66	馬達直接與齒輪接合.....	22

【替身】

壹、摘要

我們的專題探討機器人的設計與應用，其中包括引進先進的第一人稱虛擬實境(VR)[1]技術，提供用戶沉浸式的體驗。這使機器人不僅擁有出色的運動學能力，還具有精密的手臂關節操作技術，使其能夠同步人體姿態操作並做出各種複雜且精準的動作。手臂前端還搭載了可模組化工具，目標是創造一個靈活、多才多藝的機器人，以滿足不同領域的需求，從日常輔助到危險環境的探勘與救助。透過結合虛擬現實和高度靈活的操作，我們的機器人致力於改進現代生活和工作方式，提供更先進、更具效能的解決方案。

貳、研究動機

在新聞裡面看到一些救災的報導，讓我們想到在許多危險的災難現場，對人類來說或許難以接近，而機器人在災區不僅能夠發揮探測功效，還具備實際行動能力。它們能夠清理殘骸、搬運救援裝備，成為救援人員的力量，使其更專注於危險的救援任務。這樣的高效合作，有效提升了救災行動的迅速性和安全性。

在深刻的瞭解到救災多危險後，我們決定做出兼具探測功能和有實際搬運、移動物品能力的產品。使用多個陀螺儀，能夠使機械手臂做出和人類手臂一般精密的操作。第一人稱視角使操作更加直覺。

參、主題與課程之相關性或教學單元之說明

一、硬體製作

高二實習課中，學習到 3D 列印機[2]和雷射雕刻機的使用，讓我們能用 3D 列印出我們需要的各種外殼，如圖 1 所示。以及其他各種零件，如圖 2 所示。

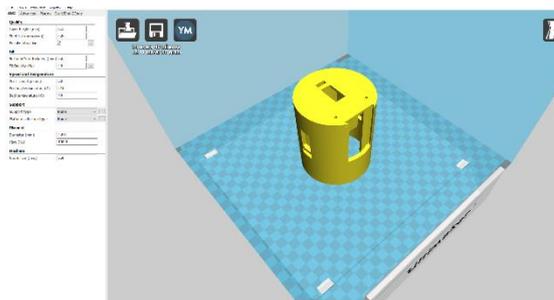


圖 1 外殼 3D 列印

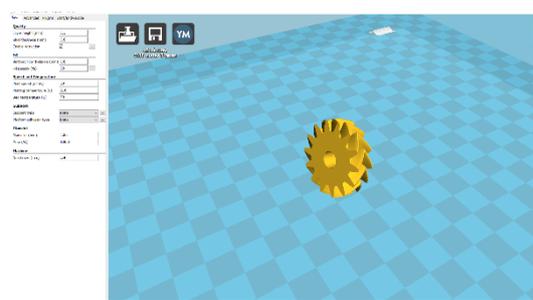


圖 2 零件 3D 列印

二、程式撰寫

我們利用高二實習課中學習到的 Arduino IDE[3]為此次專題硬體撰寫控制程式，如圖 3 所示，再搭配 Mega2560 Pro[4]、ESP32[5]作為驅動板，ESP32 透過 RF24[6]串聯起操控器和機器人之間的通訊參數進行控制。部分程式則是使用 Cursor 進行撰寫，如圖 4 所示。

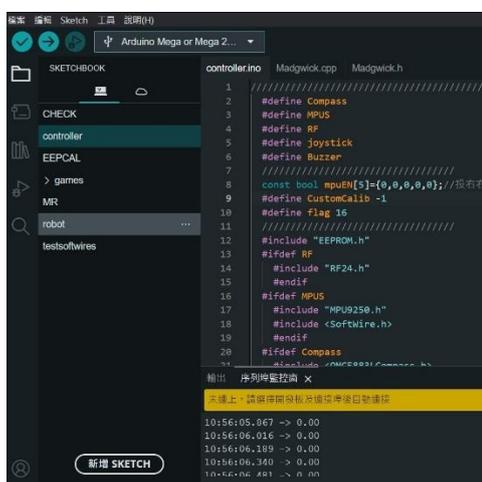


圖 3 Arduino 程式撰寫

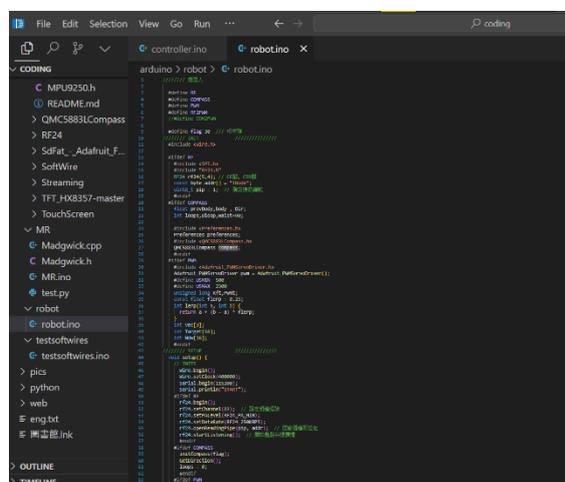


圖 4 Cursor 程式撰寫

三、電路板雕刻

我們利用高二實習課學習過的 Altium Designer[7]，來解決線路繁雜的問題，自製了電路板以節省線材。首先在 Altium Designer 中，直接繪製出所需電路的 PCB 電路板，如圖 5 所示，利用電路板雕刻機刻出所需的電路板，最後進行銲接，如圖 6 所示，不只有效減少電路面積，更能降低線路錯誤的可能性。

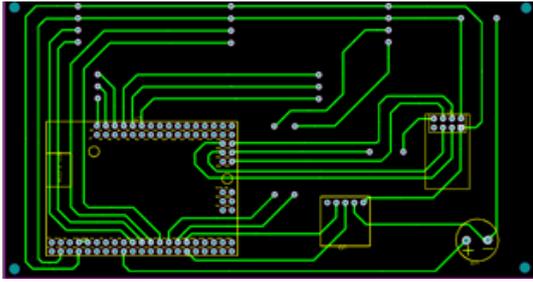


圖 5 PCB 電路圖

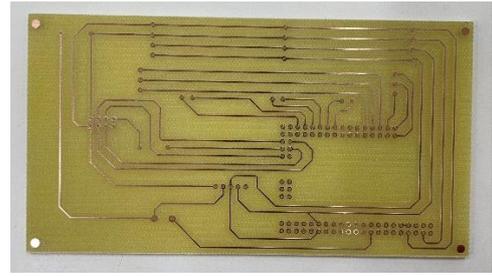


圖 6 電路板

肆、研究方法

一、研究流程

(一)、研究步驟

在九月中旬確認專題題目後，我們開始蒐集資料，時間分配如表 1 所示，研究步驟如圖 7 所示。

表 1 時間分配表

	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月
1. 資料蒐集					
2. 元件採購					
3. 本體製作					
4. 手臂製作					
5. 程式撰寫					
6. 電路製作					
7. 成品測試					

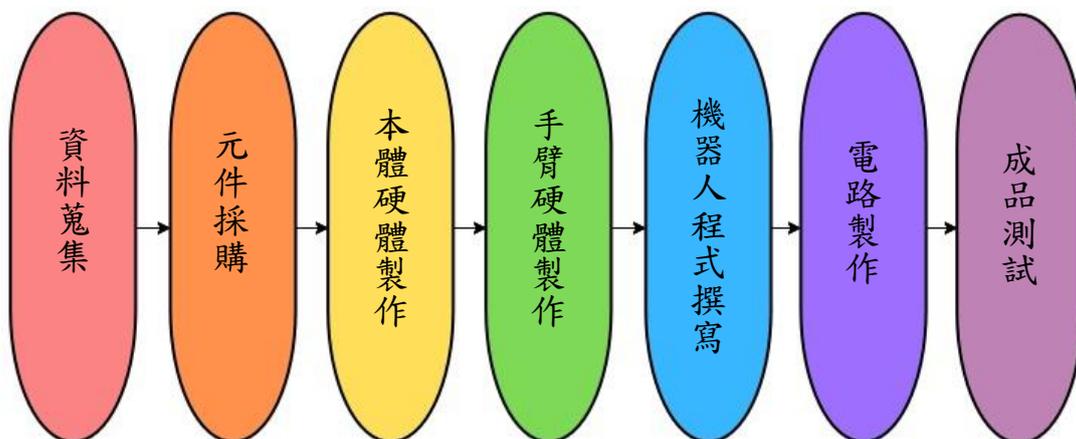


圖 7 研究步驟

(二)、操作步驟

1、人員架設流程

人員將設備穿在身上，移動身體各部位，替身即可做出相應的動作，如圖 8 所示。

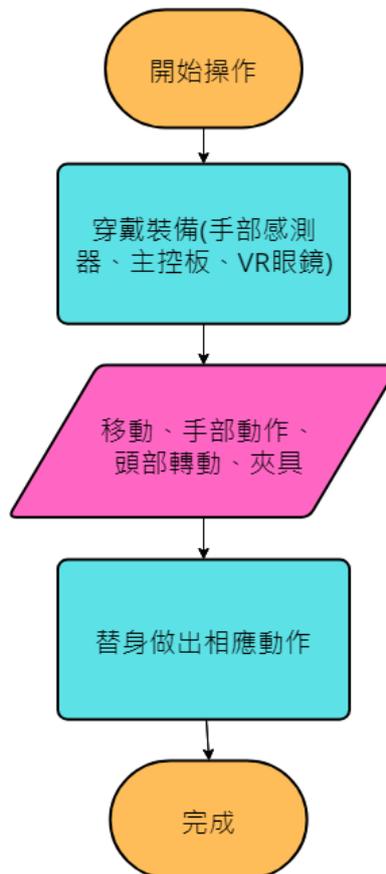


圖 8 人員操作流程

2、機器人運作流程

機器人方面則為本體、手臂和穿戴設備配合工作，如圖 9 所示。

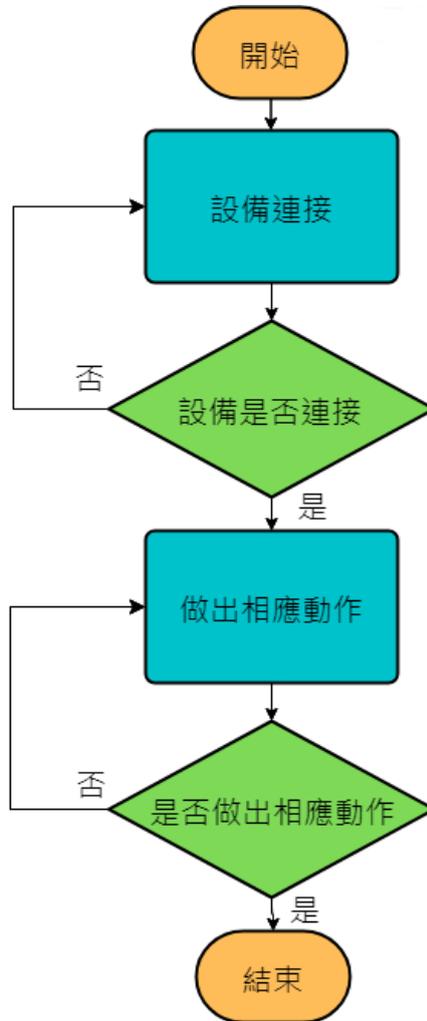


圖 9 機器人運作流程

二、使用材料

(一)、零件材料

1、PCA9685 16 路直流電機驅動模組

PCA9685(圖 10)是採用 I²C 通訊介面[8]的 16 路 PWM 產生器，解析度為 12bit，開關頻率為 24 Hz 到 1526 Hz。雖然具備 16 路的 PWM，但 16 路的頻率無法單獨設置，只能調整各路的 duty cycle，所以比較適合應用在固定頻率但需調整 PWM[9]占空比的 LED 亮度調整或採用多軸小型伺服馬達的機器人。PCA9685 包含一個帶有內置時鐘的 I²C 控制 PWM 驅動器，每次設置皆會保持最後一次所設置的參數運作，無需連續發送訊號控制。

表 2 PCA9685 16 路直流電機驅動
模組規格

驅動芯片	PCA9685
驅動電壓	3.3~5V
邏輯電壓	3.3V
邏輯電流	0~25mA
驅動電流	3A
最大功率	30W
尺寸	67.7*25.5*14 mm



圖 10 PCA9685 16 路直流電機
驅動模組 [10]

2、MPU9250 九軸感測器模組

MPU9250(圖 11) MPU9250 內部包括 3 軸加速度計、3 軸角加速度計和 3 軸磁力計，這 3 個功能輸出都是 16 位的數字量；可以透過常用的資料匯流排 I²C 介面和單晶片進行資料交互，傳輸速率 400 kHz/s。陀螺儀模組之規格如表 3 所示。

表 3 MPU9250 九軸感測器模組規格

供電電源	3~5V
陀螺儀範圍	±250/500/1000/2000° /s
加速度範圍	±2/4/8/16G
磁場範圍	±4.8mT
尺寸	15*25mm

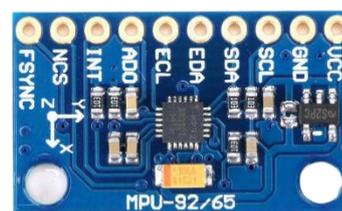


圖 11 MPU9250 九軸感測
器模組

3、Arduino Mega 2560 PRO

Arduino Mega 2560 PRO(圖 12)功能類似於 Arduino Mega 2560 它是嵌入式主板，但同樣穩定，並採用原裝芯片 ATmega2560。該板使用晶片 CH340G 作為轉換器 UART-USB。規格如表 4 所示。

表 4 Arduino Mega 2560 PRO 規格

主控芯片	ATmega2560
驅動芯片	CH340
工作電壓	5V
功耗	5V/220mA
數字 I/O 端口	54
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
頻率	16 MHz

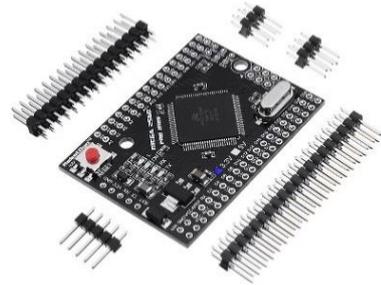


圖 12 Arduino Mega 2560 PRO

4、搖桿

搖桿用於控制機器人移動的方向，如(圖 13)所示。



圖 13 搖桿 [11]

5、7.4V 鋰電池組

7.4V 鋰電池(圖 14)組運用在機器人本體供應輪胎馬達、其他元件，其規格如表 5 所示。

表 5 7.4V 鋰電池組規格

工作電壓	5.2~8.5V
容量	2000mAh
持續電流	2A



圖 14 7.4V 鋰電池組 [12]

6、nRF24L01

nRF24L01(圖 15)nRF24.L01 是一款射頻收發器件，工作於 2.4 GHz~2.5 GHz ISM 頻段，內置頻率合成器、功率放大器、晶體振盪器、調製器等等功能芯片，並融合了增強型 ShockBurst 技術，其中輸出功率和通信頻道可通過程序進行配置。其規格如表 6 所示。

表 6 nRF24L01 規格

工作電壓	1.9~3.6V
功率	2.512mW
電流	11.8mA
頻率	2.4~2.525GHz
傳輸速度	2Mbps
尺寸	41*15mm



圖 15 nRF24L01 [13]

7、ESP32

ESP32(圖 16)模組集成了傳統藍牙、低功耗藍牙和 Wi-Fi，具有廣泛的用途：Wi-Fi 支持極大範圍的通信連接，也支持通過路由器直接連接互聯網；而藍牙可以讓用戶連接手機或者廣播 BLE Beacon 以便於信號檢測。模組支援的資料傳輸速率高達 150 Mbps，可實現最大範圍的無線通訊。因此，這款模組具有行業領先的技術規格，在高集成度、無線傳輸距離、功耗以及網路聯通等方面性能極佳。規格如表 7 所示。

表 7 ESP32 規格

晶片	ESP32-D0WD
工作電壓	3.3V/5V
工作電流	60mA
工作溫度	-25°C~+65°C
SPI Flash	32Mbit/3.3V
晶體振盪器	40MHz
時鐘頻率	80MHz~120MHz



圖 16 ESP32

8、MG90S 伺服馬達

這款 MG90S 伺服馬達(圖 17) 屬於階級舵機，主要面向半專業用途，內置優質高速馬達及金屬傳動齒輪，採用雙耐震滾珠軸承，擁有最高 2.2kg/cm 的力矩，在 6V 的電壓下能夠達到 0.08s/60°，擁有極高的性能，故經常用來製做機械人、智能小車及智能家居。其規格如表 8 所示。

表 8 MG90S 伺服馬達規格

使用電壓	4.8~7.2V
轉動角度	180/360°
速度	0.11s/60°
扭力	2kg/cm



圖 17 MG90S 伺服馬達 [14]

9、QMC5883L

QMC5883(圖 18)是一款三軸指南針羅盤磁場感測器，用以偵測方向。其規格如表 9 所示。

表 9 QMC5883L 規格

電壓	3.3/5V
通信方式	IIC
尺寸	16*18mm
測量範圍	$\pm 1.3\sim 8\text{Gauss}$

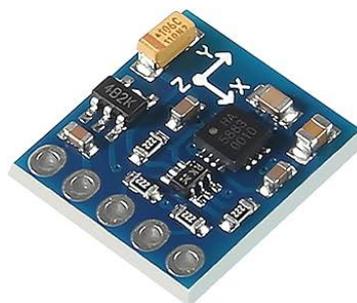


圖 18 QMC5883L [15]

10、250K Ω 可變電阻器

250K Ω 可變電阻器 (圖 19)用以當成控制夾具開合之電位計。其規格如表 10 所示。

表 10 250K Ω 可變電阻器規格

最大輸入電壓	300V
最大電流	1.2mA



圖 19 250K Ω 可變電阻器 [16]

11、自激式蜂鳴器

運用自激式蜂鳴器(圖 20)會鳴叫的特性，將其裝置在主控板上，以利系統故障時提醒使用者。其規格如表 11 所示。

表 11 自激式蜂鳴器規格

電壓	2~5V
頻率	2300 \pm 300Hz
分貝	80dB



圖 20 自激式蜂鳴器 [17]

12、FPV 微型攝影鏡頭

FPV 微型攝影鏡頭(圖 21)用來捕捉即時的影像。其規格如表 12 所示。

表 12 FPV 微型攝影鏡頭規格

電壓	3~5.5V
頻段	5.8GHz
解析度	720*540



圖 21 FPV 微型攝影鏡頭 [18]

13、福來輪

福來輪(圖 22)可使機器人全向移動，側邊的小滾輪可以讓機器人左右橫移時，減少摩擦力，使機器人不需要轉向後就能左右移動。規格如表 13 所示。

表 13 福來輪規格

外徑	38mm
----	------



圖 22 福來輪 [19]

14、LM2596 穩壓模組

LM2596 系列是德州儀器 (TI) 生產的 3A 電流輸出降壓開關型集成穩壓晶片，負責將電池的 7.4 伏特的電壓降至其他模組所需的 5 伏特，如圖 23 所示。

表 14 LM2596 穩壓模組規格

最高輸出電壓	3~7V
最大輸出電流	3A
振盪頻率	150kHz
轉換效率	75~88%
工作溫度範圍	-40°C ~ +125°C



圖 23 LM2596 穩壓模組 [20]

(二)、機構原理

1、本體

機器人本體外殼由 3D 列印打造，分成上下兩個部分，分別是身體和底盤，最上方架設一個 FPV 鏡頭，以伺服馬達與身體連接，身體左右兩側分別放置一顆伺服馬達與手臂連接，細節於手臂部分做介紹，身體裡放置主控版以及所有元件，背後則是放置電池的區域，用連接軸承使身體和底盤連接，並使用伺服馬達使身體轉動，底盤使用三顆福來輪來達成全向移動[21]，整體結構如圖 24 所示。

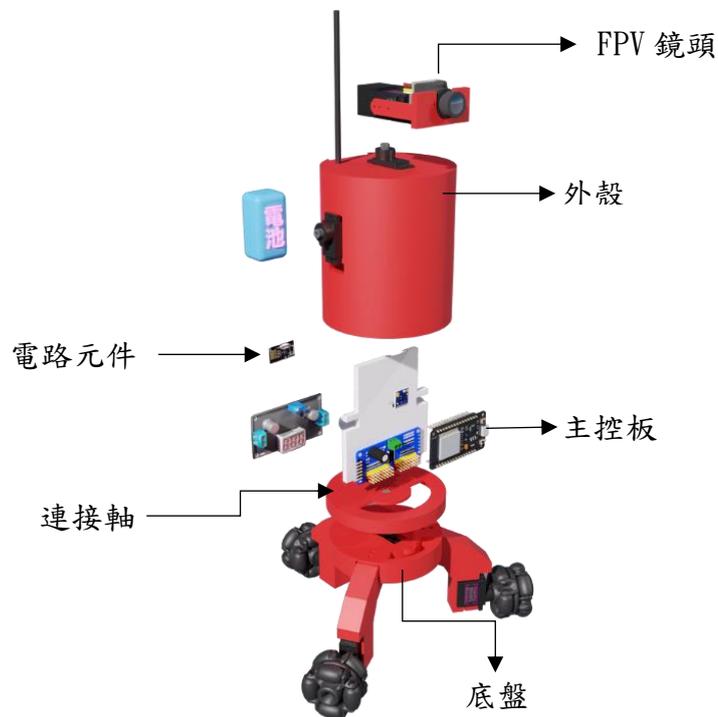


圖 24 本體機構原理

2、手臂

手臂，靠近本體紅色的部分使用了四個伺服馬達，與門字形結構連接，使他們能形成與人體關節相近的構造，手臂前端使用兩顆螺絲連結工具，達成可快速替換的工具模組夾具使用了一顆伺服馬達驅動一對人字型齒輪[22]，進行開合電鑽亦使用一顆伺服馬達當成動力軸承，使六角套筒轉動，進而連接各種鑽頭或起子，整體結構如圖 25 所示。

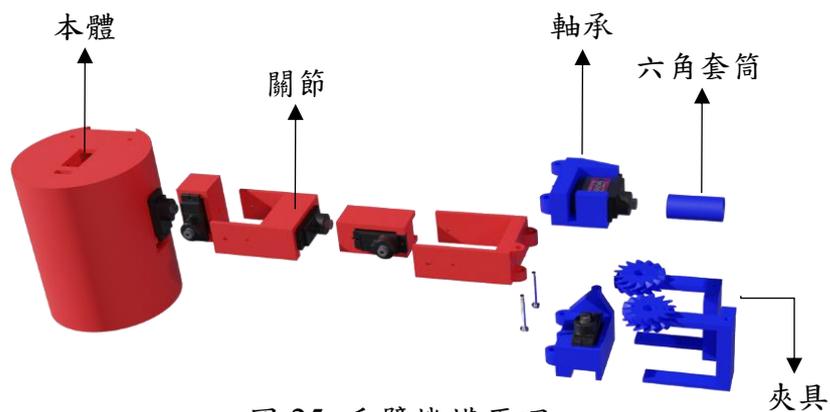


圖 25 手臂機構原理

(三)、結構設計

1、手臂模組拆裝

我們參考挖土機的設計，使用孔洞與螺絲配合，創造出一種便於拆裝工具的設計。如圖 26 所示。

2、夾具設計

參考人字形齒輪的設計，這種設計使夾具的嚙合更穩定，不容易脫齒，如圖 27 所示。

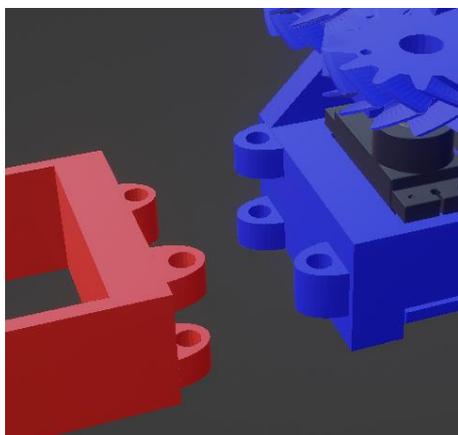


圖 26 模組化接頭

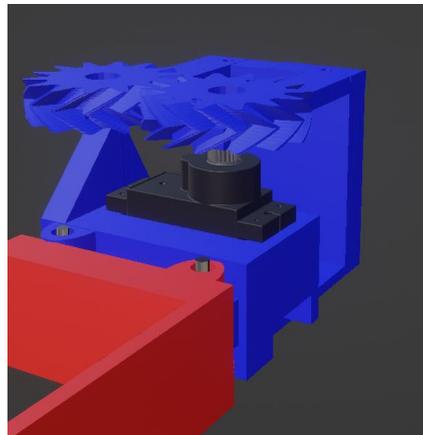


圖 27 人字形齒輪

3、模組置於板子上

我們看到工配盤面都是將模組和線路放在一片板子上，再裝入箱子，所以採用類似的設計，使安裝更方便，如圖 28 所示。

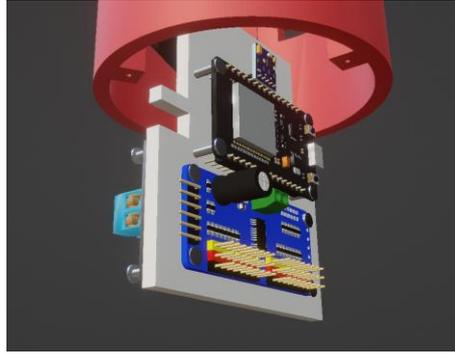


圖 28 模組安裝板

4、電池盒滑槽

我們之前已經有設計滑槽經驗，這次使用在電池盒上，使電池更容易更換如圖 29 所示。

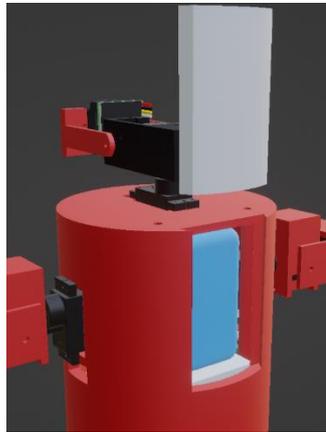


圖 29 電池盒滑槽

5、利用傳輸線

我們使用了 PS2 和 VGA 傳輸線連接手把和陀螺儀，如圖 30-31 所示。

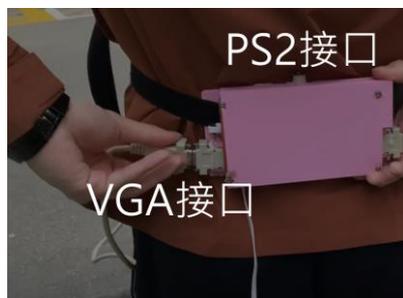


圖 30 主控板接口



圖 31 手把接口

伍、研究結果

一、硬體結構

硬體結構主要分為兩部分，本體及手臂，我們將其分開介紹。

(一)、本體

本體細部介紹，如圖 32 所示。

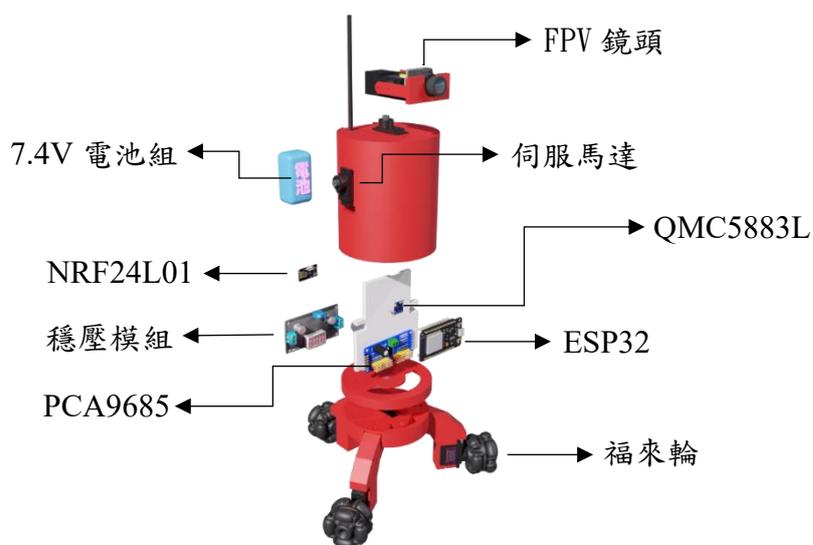


圖 32 本體內部結構

(二)、手臂

手臂細部介紹，如圖 33 所示。



圖 33 手臂細部結構

二、軟體架構及技術

(一)、頭部轉動

首先使用穿戴者背後的 QMC8553L 磁力計讀取地磁的磁通量，以紅色箭頭方向的磁通為 X，綠色方向的磁通為 Y，如圖 34 所示，帶入反餘切函式，如圖 35 所示，求得操作者的面向方位。

將頭部九軸陀螺儀的三組三軸參數(加速度、角加速度、磁力) 帶入 Madgwick 濾波器[23]函式，如圖 36 所示，Madgwick 濾波器將加速度、磁力代入低通濾波器，用以濾除手部揮動和環境磁力所造成的干擾，將角加速度代入高通濾波器，以消除長時間所造成的累積誤差，再轉換成旋轉四元數[24]。

旋轉四元數使用虛數概念表示一個物體在三維空間的旋轉，但難以在計算時使用，所以要將其轉換成更簡單的歐拉角，如圖 37 所示，歐拉角[25]有三個角度，Yaw (偏航角)、Pitch(俯仰角)、Roll(滾動角) 將旋轉四元數皆帶入歐拉角轉換公式，轉換成頭部的全域歐拉角，如圖 38 所示，將頭部歐拉角沿 Z 軸反轉穿戴者面向方位的角度，消除因穿戴者面向不同所造成的誤差。

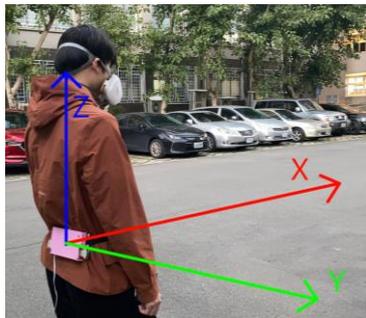


圖 34 磁力計三軸

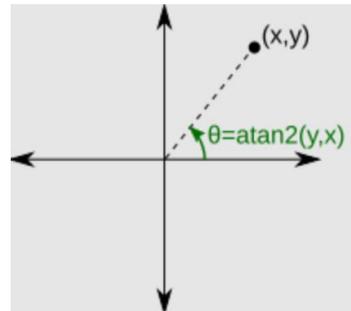


圖 35 反餘切函式

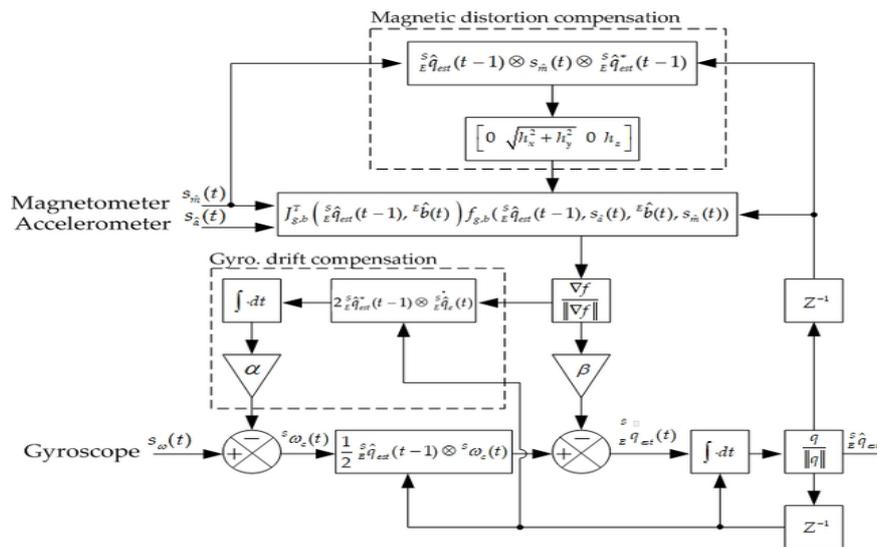


圖 36 Madgwick 濾波器

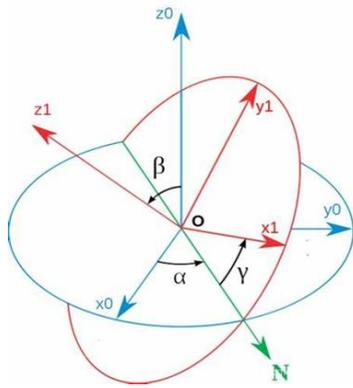


圖 37 歐拉角

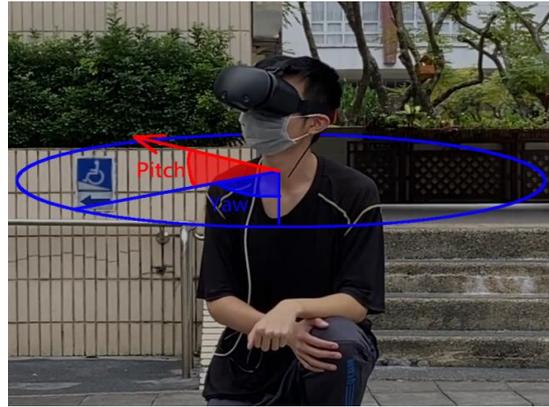


圖 38 頭部全域歐拉角

(二)、手臂動作理念

上臂穿戴的 MPU9250[26]可以偵測人體盂肱關節改變的角度所示，以紅色箭頭表示手臂方向，如圖 39 所示，對應到機器人靠近身體的兩顆伺服馬達，以紅色箭頭表示機械手臂對應的方向，如圖 40 所示。

前臂穿戴的 MPU9250 可以偵測人體肘關節改變的角度，以紅色箭頭表示手臂方向，如圖 41 所示，對應到機器人另外的兩顆伺服馬達，以紅色箭頭表示機械手臂對應的方向，如圖 42 所示。



圖 39 上臂陀螺儀參考座標軸

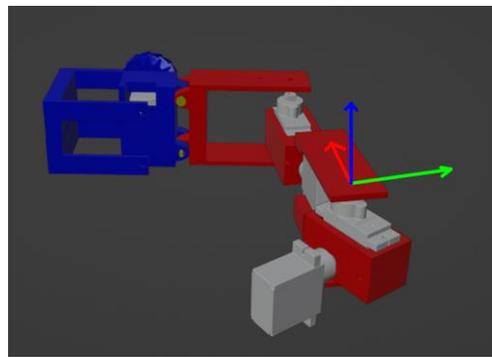


圖 40 機器人上臂陀螺儀參考座標軸

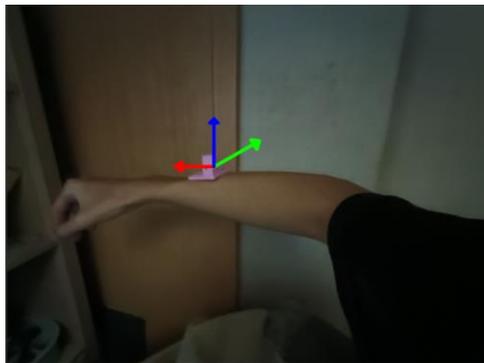


圖 41 前臂陀螺儀參考座標軸

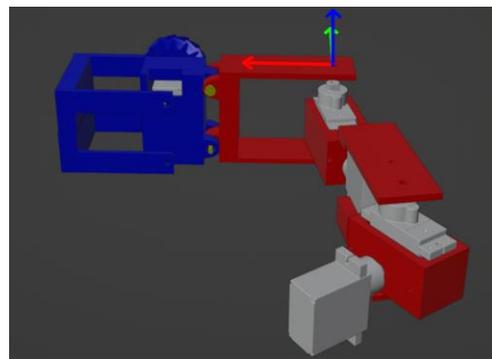


圖 42 機器人前臂陀螺儀參考座標軸

(三)、手臂動作計算流程

將手臂前端與後端的九軸陀螺儀的三組三軸參數(加速度、角加速度、磁力) 帶入 Madgwick 濾波器函式，取得手臂前端與後端的旋轉四元數。將兩個旋轉四元數皆帶入歐拉角轉換公式，轉換成手臂前端與後端的全域歐拉角，各使用歐拉腳的兩個角度，如圖 43-46 所示兩個歐拉角由藍色的 Yaw 與綠色的 Pitch 組成。

但兩個全域歐拉角的 Yaw 是根據地磁決定，只要操作者轉身，歐拉角也會偏移，如圖 47 所示。此時就需要減去穿戴者面向方位的角度，消除因穿戴者面向不同所造成的誤差，將上臂的歐拉角轉換成三維向量，如圖 48 所示。

為了計算馬達轉動，需要先設定關節的相對歐拉角，如圖 49 所示。

藍色角 Yaw 對應到第一顆馬達，綠色角 Pitch 對應到第二顆。以關節的相對角度對向量使用反三角函數取得相對於關節的歐拉角，如圖 50-51 所示。

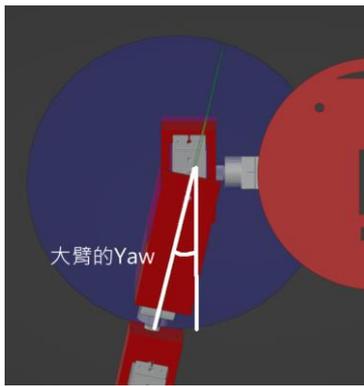


圖 43 上臂的歐拉角 Yaw

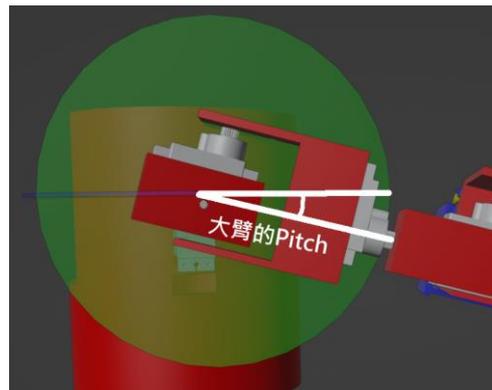


圖 44 大臂的歐拉角 Pitch

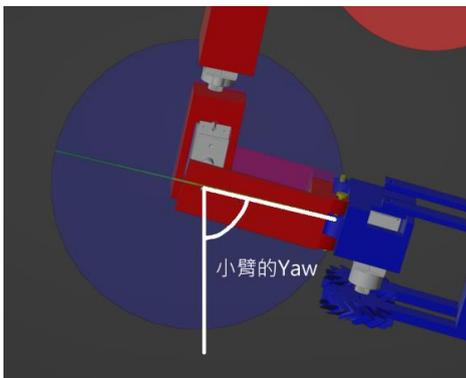


圖 45 前臂的歐拉角 Yaw

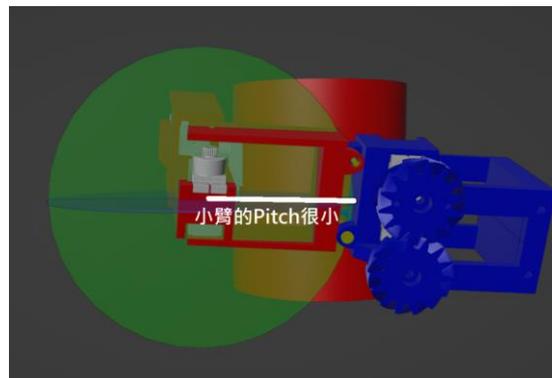


圖 46 前臂的歐拉角 Pitch

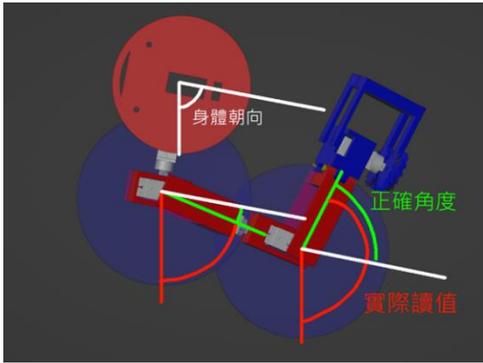


圖 47 上臂及前臂的 Yaw

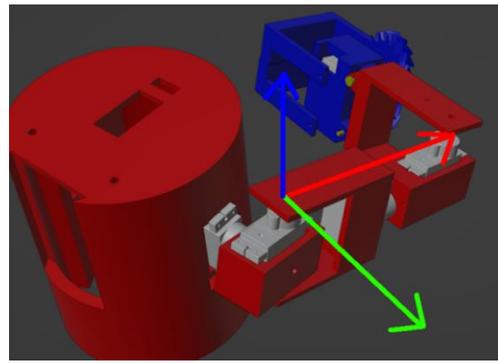


圖 48 上臂三維向量

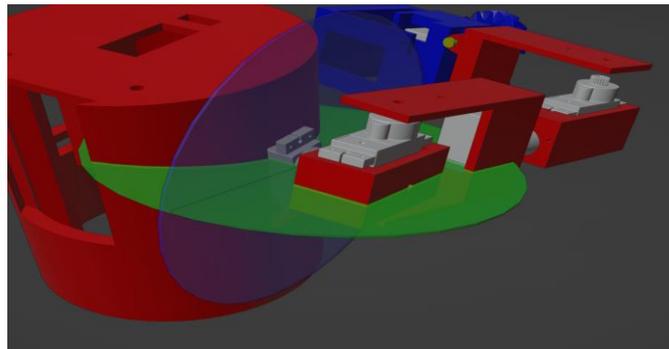


圖 49 上臂相對關節歐拉角

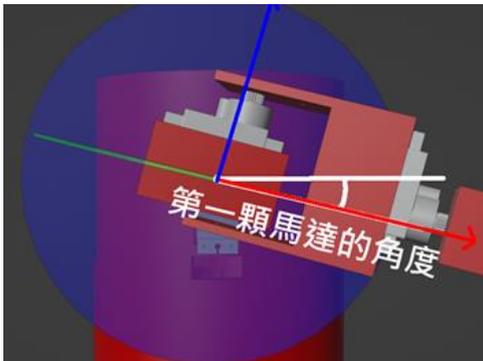


圖 50 第一個關節的角度

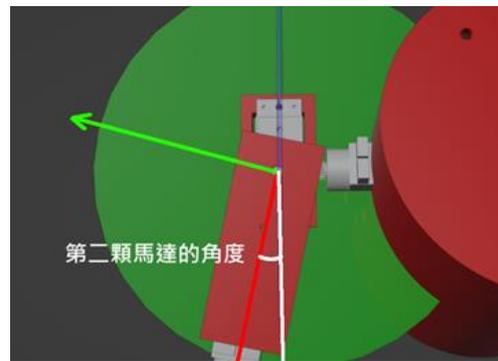


圖 51 第二個關節的角度

接下來是前臂，首先設定前臂關節的相對歐拉角，如圖 52 所示。

藍色角 Yaw 對應到第三顆馬達，綠色角 Pitch 對應到第四顆，使用旋轉矩陣，沿著上臂的反方向旋轉前臂的全域歐拉角，如圖 53 所示，藉此相對模擬上臂未轉動的情況，如圖 54 所示。

旋轉後的歐拉角已完全對應到前臂的馬達，代入即完成前臂的角度計算，如圖 55-56 所示。

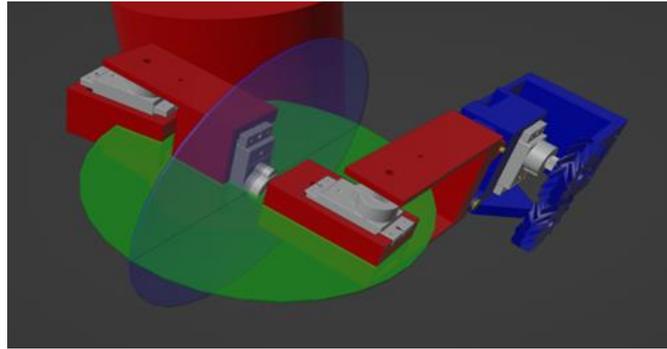


圖 52 前臂相對關節歐拉角

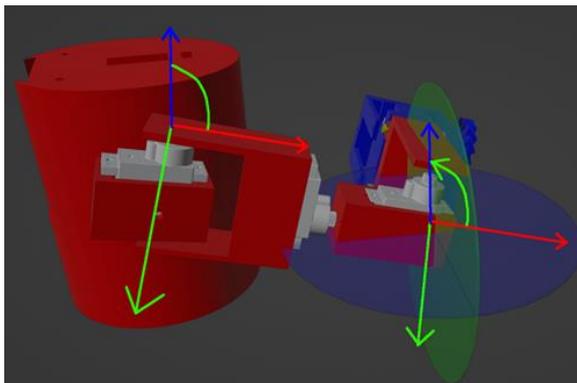


圖 53 沿上臂反向旋轉

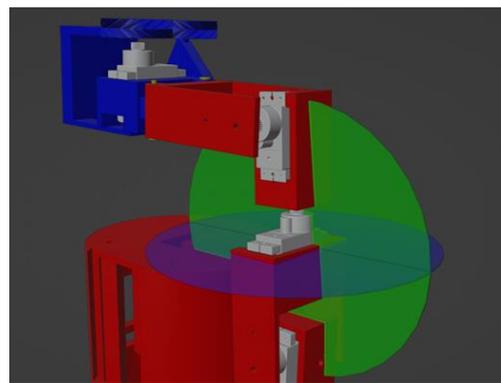
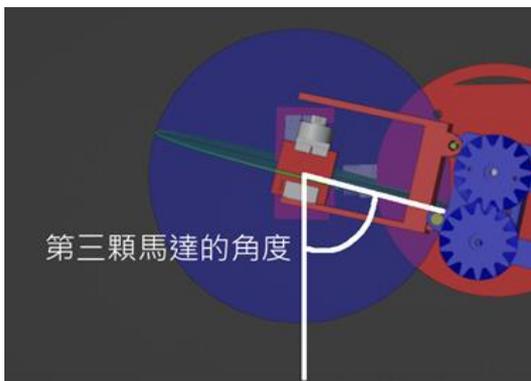
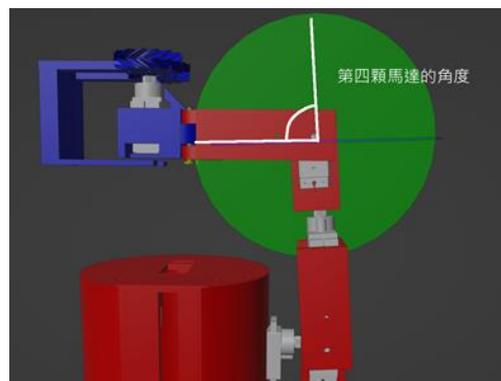


圖 54 上臂未轉動模擬



第三顆馬達的角度

圖 55 第三個關節的角度



第四顆馬達的角度

圖 56 第四個關節的角度

(四)、輪胎移動原理

將搖桿撥動的方向及力度以極座標(θ, r)表示， θ 表示方向， r 表示速度，將角度與各輪子的朝向相減，帶入餘弦函式，即可得到各輪子的對應轉速，如圖 57 所示。

將各輪子速度乘上長度，即搖桿推動的幅度，決定移動速度，但伺服馬達的轉速為非線性，於是帶入對數補償函式，對數補償函式將類似指數的馬達轉速帶入對數函式，使轉速曲線更接近直線，進而馬達轉速更精準，如圖 58 所示。

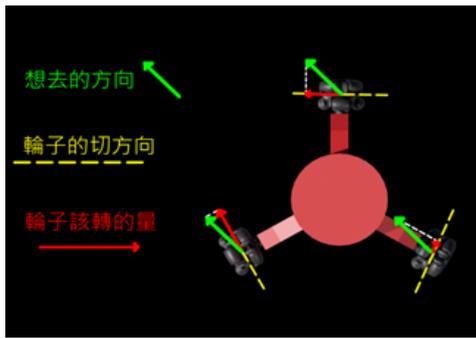


圖 57 底盤移動向量圖

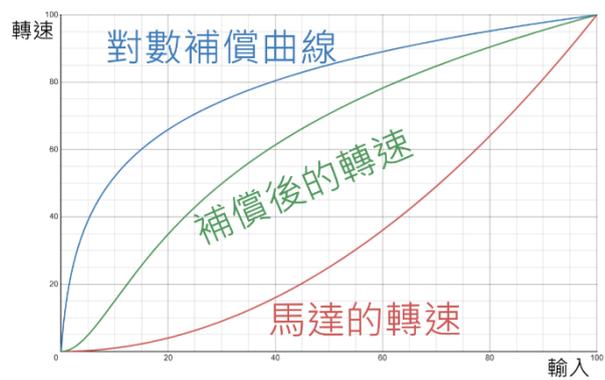


圖 58 對數補償函式曲線

(五)、手把未連接偵測

手把使用搖桿模組和可變電阻給穿戴者控制，其最大輸出電壓為 3.3V，而手把未連接的讀值會在 0~5V 間浮動，當偵測到的電壓比 3.3V 還高時，系統就會以蜂鳴器提醒穿戴者連接手把，如圖 59 所示。

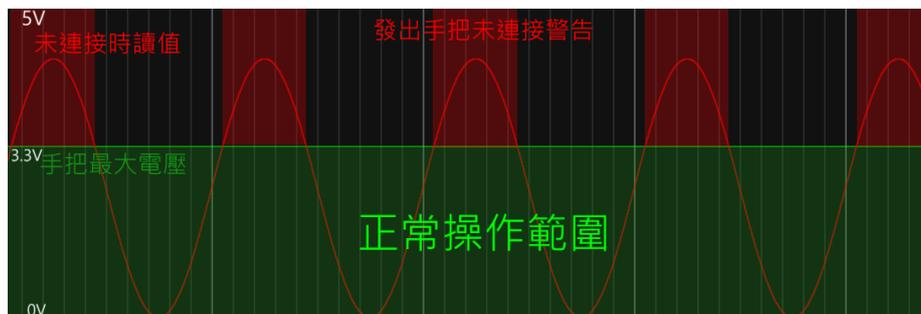


圖 59 手把未連接偵測

(六)、線性差值積分法

因無線模組的傳輸速度有限，馬達會抖動，於是使用線性差值積分法使馬達動作更平滑，線性差值積分會重複執行，每次執行會將馬達以比較慢的速度轉向目標，如圖 60 所示。

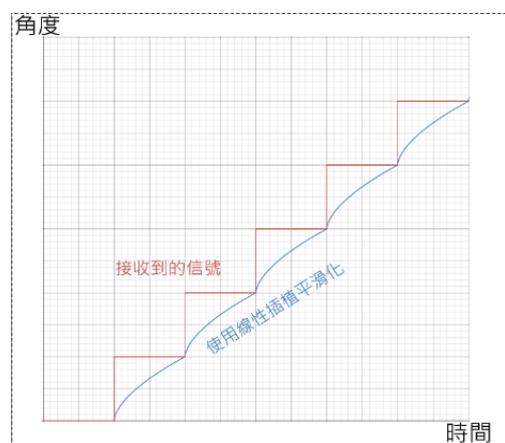


圖 60 線性差值積分法

(七)、無線傳輸編碼方式

程式庫 RF24 提供以 32 個字元傳輸資料的方法，但一個字元只能傳送 128 種狀態(0~127)，我們使用了其中 17 個，前 16 個用來傳輸各馬達要轉的角度，將角度 0 到 180 度轉換成 0~127 以吻合 RF24 的字元要求，而第 17 個用來傳輸穿戴者面向，角度由 0~360 度，但穿戴者可能轉圈，導致角度瞬間由 360 度跳到 0 度，如圖 61 所示。

所以使用 0~125 表示角度，但如果穿戴者順時針轉圈則傳輸 126；逆時針轉圈則傳輸 127，機器人在接收到指令後會自動增減一圈，而不會反轉，如圖 62 所示。

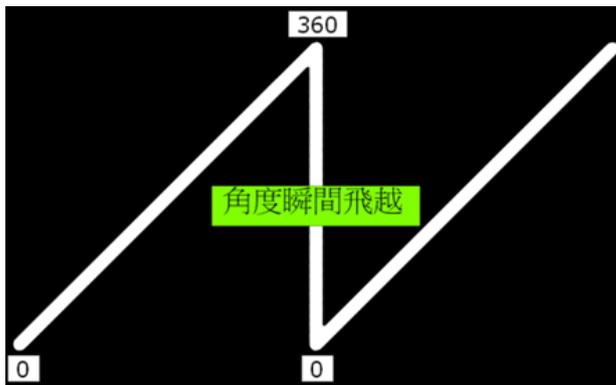


圖 61 角度讀值飛越

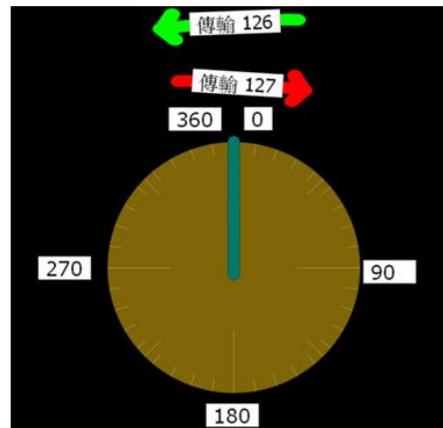


圖 62 轉圈信號傳送

三、成果展示

(一)、本體、手臂

本體可以在多種平面上隨意移動，多功能手臂能使用夾具或鑽頭，並模仿操作者的動作，同時透過 FPV 鏡頭觀看到現場環境，背後設有電源開關，如圖 63 所示，詳細結構介紹在肆之二的(二) 機構原理及肆之二的(三)結構設計。

(二)、控制裝備

用以控制機器人，以五個九軸陀螺儀精準地偵測手臂、頭部動作，腰部用了一片主控板來控制整個裝備的運行，兩隻手把來控制機器人移動、轉向以及手部工具的動作，如圖 64 所示。

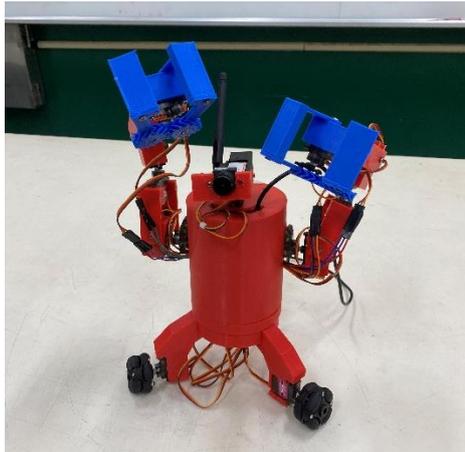


圖 63 本體、手臂

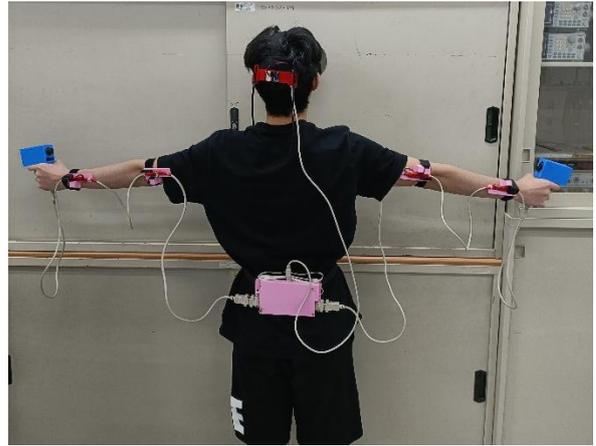


圖 64 控制裝備

陸、討論

一、夾具無法正常開合

一開始馬達於夾具齒輪接合的位置有一段距離，以至於夾具有時無法正常開合，如圖 65 所示，因此我們將馬達轉向，使馬達與齒輪直接接合，讓開合更穩定，如圖 66 所示。



圖 65 馬達並非直接與齒輪接合

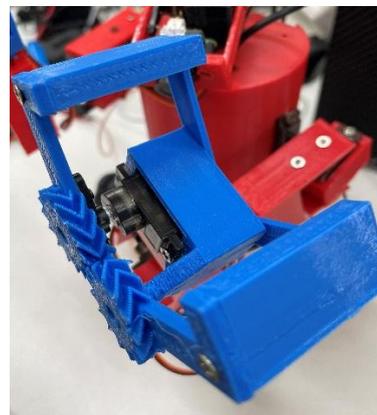


圖 66 馬達直接與齒輪接合

二、MPU9250 磁力計不準確

原先手臂裝備的 MPU9250 非常不穩定，讓機器人無法正常做出相應動作，但後來我們網路上查詢資料，發現使用四元數計算可以有效解決磁力計不穩定這個問題，因此我們將所有重量分配在扶手上方，以增加爬升過程中的摩擦力。

柒、 結論

這次專題中，我們成功的創造出能夠全向移動及同步上半身與視角的機器人。我們的機器人利用三顆福來輪，來使機器人可以全向移動，並使用九軸感測器模組，偵測人體手部運動的軌跡，並讓機器人手臂做出相應的動作，在機器人上方搭載了一顆FPV鏡頭，好讓操作者以第一人稱視角，觀察到從機器人的視角看出去的景色。

我們的專題可說是一波三折，換了好幾次題目，到了十月初才真正定好要做的題目，各個組員的努力不懈，不論是結構設計，或是撰寫程式，更甚至是影片製作，大家都能互相討論、幫助及學習，每個人都是不可或缺的，大家運用各自學習到的專業技能互相配合，最後完成了這個專題。

透過這次專題製作讓我們學習到很多上課時老師不會教的知識，像是在一個團體中，大家如何互相合作互相幫助，並發揮出每一個人的優點，才能夠順利完成我們的「替身」。

捌、參考資料及其他

一、網路資料

1. 虛擬實境“ <https://reurl.cc/krrWvG> ”
2. 切片軟體> Cura 15 教學 - ATOM 3D Printer
“<https://www.atom3dp.com/cura-15-%E6%95%99%E5%AD%B8>”
3. Arduino IDE“ <https://www.arduino.cc/> ”
4. Arduino Mega 2560 PRO“ <https://reurl.cc/Z9989p> ”
5. ESP32“ <https://reurl.cc/bDDggy> ”
6. RF24“ <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/rf24/> ”
7. Altium Designer - PCB Design Software
“<https://www.altium.com/altium-designer> ”
8. I²C 通訊介面“ <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/I%C2%B2C> ”
9. PWM “ <https://reurl.cc/mrrb9A> ”
10. PCA9685 16 路直流電機驅動模組“ <https://reurl.cc/13310p>”
11. 搖桿“ <https://reurl.cc/G44gju> ”
12. 7.4V 鋰電池組“ <https://reurl.cc/lggnNd> ”
13. nRF24L01“ <https://reurl.cc/XqqxZ3> ”
14. MG90S 伺服馬達“ <https://reurl.cc/VNNgo5> ”
15. QMC58883L“ <https://reurl.cc/QeegkZ> ”
16. 250K Ω 可變電阻器“ <https://reurl.cc/Z99g53> ”
17. 自激式蜂鳴器“ <https://reurl.cc/qrr2eq> ”
18. FPV 微型攝影鏡頭“ <https://reurl.cc/nrr286> ”
19. 福來輪“ <https://reurl.cc/M44gpk> ”
20. LM2596 穩壓模組“ <https://reurl.cc/N44gkp> ”
21. Omni wheel“ https://en.wikipedia.org/wiki/Omni_wheel ”
22. 人字形齒輪“ https://en.wikipedia.org/wiki/Herringbone_gear ”

23. Madgwick 濾波器演算法
“<https://ahrs.readthedocs.io/en/latest/filters/madgwick.html>”
24. 旋轉四元數“ <https://reurl.cc/WRRYk5> ”
25. 歐拉角“ <https://reurl.cc/N448Z5> ”
26. MPU9250“ <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/mpu9250/> ”